

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-153214

(43)Date of publication of application : 11.06.1996

(51)Int.CI.

G06T 17/20

(21)Application number : 06-314311

(71)Applicant : NISSAN MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 25.11.1994

(72)Inventor : TOMITA NAOYUKI  
FUJITANI KATSURO  
ONDA YU

## (54) METHOD FOR GENERATING THREE-DIMENSIONAL ORTHOGONAL GRATING DATA

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a three-dimensional(3D) orthogonal grating generating method simple in calculation procedure and capable of automatically generating a diffraction grating of culculus of finite difference corresponding to a complicated 3D shape from shape data (including shape data whose shape area is not completely closed) such as CAD data.

**CONSTITUTION:** In a block 1, facet (fine polygon) data for existing CAD data relating to a shape model are read out, an area surrounding the whole model is calculated and a VOXEL is generated, and in a block 2, numerical data are stored in VOXEL intersecting with all facet data to generate surface VOXELs corresponding to the surfaces of the shape model. Finally in a block 3, a prescribed area having the surface VOXELs as a boundary is inverted to obtain the 3D orthogonal grating of the shape model. In the case of inverting the prescribed area, one of VOXELs on the outermost layer of the object area is selected and numeric data are successively and recursively stored in all VOXELs started from the selected VOXEL to invert values in the whole area. The facet data constitute a numerical group consisting of the number of points of a polygon and the coordinate values of respective points.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3265879

[Date of registration] 11.01.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-153214

(43)公開日 平成8年(1996)6月11日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 6 T 17/20

識別記号 庁内整理番号  
9191-5H

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 15/ 60

6 1 2 J

審査請求 未請求 請求項の数 7 FD (全 14 頁)

(21)出願番号

特願平6-314311

(22)出願日

平成6年(1994)11月25日

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 富田 直幸

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

(72)発明者 藤谷 克郎

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

(72)発明者 恩田 祐

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

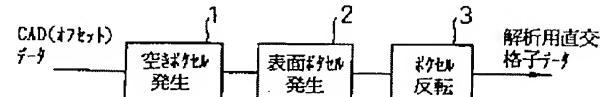
(74)代理人 弁理士 三好 秀和 (外8名)

(54)【発明の名称】 3次元直交格子データの生成方法

(57)【要約】

【目的】 計算手順が簡単であり、C A Dデータのような形状データ（形状領域が完全に閉鎖されない形状データの場合を含む）から複雑3次元形状に対応した差分法回折格子を自動生成し得る3次元直交格子の生成方法の提供。

【構成】 ブロック1で形状モデルに関する既存のC A Dデータのファセット（微細多角形）データを読み込み、モデル全体を囲む領域を算出しボクセルを発生させ、次に、ブロック2で全てのファセットデータに対してそれと交差するボクセルに数値データを格納することによりモデルの形状表面に対応した表面ボクセルを発生させる。最後に、ブロック3で表面ボクセルを境界とする所定領域の反転を行い形状モデルの3次元直交格子を得る。所定領域の反転は対象領域の最外層のボクセルを一つ選び、これをスタートとして順次再帰的にデータの格納されていないボクセル全てに数値データを格納し、全領域の値を反転する。ファセットデータは多角形の点数と各点の座標値からなる数値群である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 形状モデルのCADデータから多角形の点数と各点の座標値からなるファセットデータを読み込みモデル全体を囲む領域を算出して空きボクセルを発生させる第1の工程と、全てのファセットに対してそれぞれのファセットと交差する空きボクセルに数値データを格納することによりモデルの形状表面に対応した表面ボクセルを生成する第2の工程と、該表面ボクセルを境界とする領域の一方に対応したボクセルを自動生成して形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する第3の工程と、を有することを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項2】 請求項1に記載の3次元直交格子データの生成方法において、第3の工程が、表面ボクセルを基に形状領域外側に対応したボクセルを自動生成して得られたボクセルを形状領域全体にわたって反転して、形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する工程であることを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項3】 請求項1に記載の3次元直交格子データの生成方法において、第3の工程が、表面ボクセルを基に形状領域内に対応したボクセルを自動生成し、形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する工程であることを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の3次元直交格子データの生成方法において、ファセットとして3角形を用いることを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項5】 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の3次元直交格子データの生成方法において、形状モデルのCADデータに代えて製品の型データを用いることにより、製品形状に対応した3次元直交格子データを生成することを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項6】 請求項5に記載の3次元直交格子データの生成方法において、製品の複数の型データを用い、第1の工程でそれぞれの型データ毎にファセットデータを読み込みそれぞれ対応の空きボクセルを発生させてそれらの空きボクセルを組合せることを特徴とする3次元直交格子データの生成方法。

【請求項7】 請求項1に記載の3次元直交格子データの生成方法において、請求項2、3、5に記載の3次元直交格子データの生成方法のうちいずれか、または2つ以上によって生成した複数の3次元直交格子データを所定の位置に配置して单一の3次元直交格子データとすることを特徴とする請求項1に記載の3次元直交格子データの生成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は差分解析等に用いる3次元直交格子データの生成方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】3次元直交格子の生成方法に関する文献として、M. S. Shephard, K. R. Grice, J. A. Lo, 及びW. J. Schroederの「TREDS IN AUTOMATIC TREE-DIMENSIONAL MESH GENERATION」(Computer & Structures (VOL 30 No. 1/2 (1988) 421ページ) がある。

【0003】従来、差分解析等に必要な三次元直交格子(以下、ボクセルといふ)を自動的に生成する場合、形状の内外を判定する必要があり以下の方法((1)または(2))がとられていた。

【0004】(1) 内外判定容易なブリミティブ(基本形状)あるいは多角形板形状を積み上げて形状近似し、格子位置の内外判定でボクセルを生成する。

(2) FEMソリッド、シェル要素から内外判定しボクセルを生成する。

【0005】なお、内外判定には交点法(後述)あるいは法線ベクトル法(後述)が用いられ、また、有限要素解析法用非直交格子発生法としてはOCTREE法等が用いられている。

【0006】図11は交点法による内部外部判定法の説明図であり、図11(a)にはN状の形状をなすモデル(以下、Nモデル)が示されており、Nモデルを含む領域はメッシュ(格子)で区分されている。このとき、点X1, X2, X3がNモデルの内部の点か否かを判定するため、交点法では図のようにモデルNの外部の点X1', X2', X3' と点X1, X2, X3を結ぶ線分X1' - X1, X2' - X2, X3' - X3とモデルNの面(ファセット)との交差回数で内部と外部を判定する(交差回数が1回である点X1は内部と判定され、交差回数が2回である点X2は外部と判定される)。このように、交点法では内部外部の判定対象点とモデル外部の点を結ぶ線分とファセットとの交差回数が奇数であるか偶数であるかによって判定対象点がモデルの内部にあるか外部にあるかを判定する。

【0007】図12は法線ベクトル法による内部外部判定法の説明図である。法線ベクトル法は3次元空間内の任意の点Pが立体領域の内部にあるか外部にあるかを判定する方法の一つであり、図12(a)に示すように平面A上の任意の点から点Pに向うベクトルaと平面の法線ベクトルnの内積をとりその値によって点Pと平面Aとの位置関係(内積値>0なら点Pは平面の裏側領域に存在、内積値=0なら点Pは平面A上に存在、内積値<0なら点Pは平面の裏側領域に存在)が求められる。法線ベクトル法ではこのように内積値により位置関係が判定できることを利用して立体領域を囲む全平面について

上述の判定を行い最終的に内外判定を行う。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】前記従来のボクセル自動生成法においては次のような問題点があった。

① 前記(1)のプリミティブから形状近似する方法では複雑形状を作成するためには多大な工数を必要とし処理が複雑となるので、複雑形状の作成が困難である。

② 前記(2)のFEM要素分割からボクセルを生成する方法ではFEM要素自体の生成に工数及び時間を要し効率が悪い。

③ 任意のCADデータを用いる交点法では、前記

(1)、(2)の方法ではいずれも領域が完全に閉鎖されないような不完全なデータからは格子を発生することができないので任意のCADデータを直接利用できない。

④ 内外判定法として用いている交点法は、

a. 線分(または頂点)を通過する時計算が不安定になるという問題点(例えば、図11(a)で頂点を通過する線分X3'-X3の場合についていえば交差回数=4と計算されれば点X3は内部にあることになるが、交差回数=5と計算されれば点X3は外部にあることになり、線分がどのように頂点を通過するかによって計算結果が異なる(計算結果の不安定さ))があり、

b. また、判定に用いる立体領域は全て閉じられている必要があり、モデルのファセット面が図11(b)のように完全な場合には作成できるが、図11(c)のように不完全な場合(隙間があったり、面が張れていない場合)には作成できない場合が多い。

⑤ また、法線ベクトル法では法線ベクトルの向きは多角形のそれぞれの面に対し全て表側、或いは裏側に統一されている必要がある。図12(b)は4面体のそれぞれの面から表側に向う法線131~144を示す。また、図13(a)の例に示すように形状領域を含む全微小平面と全格子点の間で内外判定を行い、その結果を用いてその点が形状領域内にあるか否かの計算手順を繰り返して図13(b)に示すようなボクセルを得ることができるが、形状が複雑な場合や大規模な場合には計算量が膨大となり計算効率が悪い。また、有限要素メッシュを用いることができるが、図14に示すような大規模複雑形状については計算量が膨大となり計算効率が悪いので有限要素メッシュを用いた3次元直交格子の発生には不適である。

【0009】本発明は従来技術の上記問題点を解決するためになされたものであり、交点法や法線ベクトル法に比べて計算手順が簡単であり、CADデータのような形状データ(形状領域が完全に閉鎖されない形状データの場合を含む)から複雑3次元形状に対応した差分法回折格子を自動生成し得る3次元直交格子の生成方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために第1の発明の3次元直交格子データの生成方法は、形状モデルのCADデータから多角形の点数と各点の座標値からなるファセットデータを読み込みモデル全体を囲む領域を算出して空きボクセルを発生させる第1の工程と、全てのファセットに対してそれぞれのファセットと交差する空きボクセルに数値データを格納することによりモデルの形状表面に対応した表面ボクセルを生成する第2の工程と、該表面ボクセルを境界とする領域の一方に対応したボクセルを自動生成して形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する第3の工程と、を有することを特徴とする。

【0011】第2の発明は上記第1の発明の3次元直交格子データの生成方法において、第3の工程が、表面ボクセルを基に形状領域外側に対応したボクセルを自動生成して得られたボクセルを形状領域全体にわたって反転して、形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する工程であることを特徴とする。

【0012】第3の発明は上記第1の発明の3次元直交格子データの生成方法において、第3の工程が、表面ボクセルを基に形状領域内に対応したボクセルを自動生成し、形状モデルに対応した3次元直交格子データを生成する工程であることを特徴とする。

【0013】第4の発明は上記第1の発明ないし第3の発明のいずれかの3次元直交格子データの生成方法において、ファセットとして3角形を用いることを特徴とする。

【0014】第5の発明は上記第1の発明ないし第3の発明のいずれかの3次元直交格子データの生成方法において、形状モデルのCADデータに代えて製品の型データを用いることにより、製品形状に対応した3次元直交格子データを生成することを特徴とする。

【0015】第6の発明は上記第1の発明ないし第3の発明のいずれかの3次元直交格子データの生成方法において、製品の複数の型データを用い、第1の工程でそれぞれの型データ毎にファセットデータを読み込みそれぞれ対応の空きボクセルを発生させてそれらの空きボクセルを組合せることを特徴とする。

【0016】第7の発明は上記第1の発明の3次元直交格子データの生成方法において、上記の第2の発明、第3の発明、第5の発明に記載の3次元直交格子データの生成方法のうちいずれか、または2つ以上によって生成した複数の3次元直交格子データを所定の位置に配置して单一の3次元直交格子データとすることを特徴とする。

【0017】

【作用】上記構成により第1ないし第7の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、第2の工程において、ファセットに交差する空きボクセルから表面ボクセルを発生させる際、ファセット間の隙間がボクセルの大

きさで吸収できる。

【0018】第2, 第5, 及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、形状領域の外部を埋めるための始点情報は自動設定ができ、オペレータによる入力を要しない。また、反転操作により形状内外の指定なしで2つ以上のモデルを同時に自動発生できる。

【0019】第3, 第5, 及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法は、中空形状の3次元直交格子データの生成に適しており、また、第2の発明に比較して処理スピードが速くなる。

【0020】第4の発明の3次元直交格子データの生成方法では、第2の工程でファセットとして微細自由曲面または微細多角形を用いる場合と比べ3角形を用いることにより比較ステップが簡略化され空きボクセルとの交差判定速度が速くなる。

【0021】第5及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法は、外側を埋めたあと反転することにより見切り面等を持つ型データについても修正なしにボクセル化ができる。

【0022】第6の発明では3次元直交格子データの生成方法は、従来工数や記憶容量の関係上なされなかった複雑形状のモデルについても、型データを組合せて空きボクセルを得て表面ボクセルを発生させることができ、3次元直交データの作成が短時間でできる。

【0023】第7の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、夫々のパートに都合の良い方法を使って効率良い演算ができる。

#### 【0024】

【実施例】図1は本発明の3次元直交格子の生成方法の基本プロセスを示すブロック図であり、ブロック1は形状モデルに関する既存のCADデータのファセット（微細多角形）データを読み込み、モデル全体を囲む領域を算出し空きボクセルを発生させる空きボクセル発生ブロックである。なお、ここで、ファセットデータは多角形の点数と各点の座標値からなる数値群である。

【0025】ブロック2は全てのファセットに対してそれと交差する空きボクセルに数値データを格納することによりモデルの形状表面に対応したボクセル（表面ボクセル）を発生させる表面ボクセル発生ブロックである。

【0026】ブロック3は表面ボクセルを境界とする領域の一方にボクセルを自動生成してから形状領域全体にわたってボクセル値の反転を行い、形状モデルの3次元直交格子を得るボクセル反転ブロックである。

【0027】図2は本発明の3次元直交格子の生成方法により得られた3次元直交格子データの生成実施したシステムの一構成例を示すブロック図であり、システムはイーサネットのようなローカルエリアネットワーク（LAN）7を介して対象物体の形状モデルデータを生成するCADシステム5、本発明により生成される3次元直交格子データに基づいて差分解析等を実行する解析シス

テム6、ファセットデータのピッチ等の各種設定値や操作情報を入力するためのキーボード8、ディスプレイ9、及び本発明の3次元直交格子の生成方法を実行するため構成を備えたワークステーション10が接続している。

【0028】ワークステーション10はCADシステムからのファセットデータを格納するファセットデータ格納部11、本発明により生成される3次元直交格子データを格納する解析用直交格子データ格納部、作業用主記憶部（メモリ）13、及びワークステーション全体を制御し3次元直交格子の生成方法を実行するCPU14を有している。

【0029】CPU14は、また、ファセットデータに基づいて3次元直交格子を発生する解析用直交格子発生部15及びディスプレイ9にデータ表示を行うためのデータ表示操作部16を含んでいる。また、解析用直交格子発生部15は図1の空きボクセル発生ブロック1、表面ボクセル発生ブロック2、及びボクセル反転ブロック3の動作に相当する処理を行う。

【0030】図3は図2のシステムを用いた本発明の3次元直交格子生成法の一実施例を示すフローチャートであり、図4はその各プロセスにおける説明図である。以下、図2、図3、図4、及び図15ないし図22により説明する。

【0031】図15は鋳造法により鋳造部品を製造する場合に用いる金型をNC加工するときに必要なNCデータを自動生成するためのCADデータの例をディスプレイ9上に描画した画像の写真である。また、図16は図15の金型表面を組合せて一部を切断したもののCADデータのディスプレイ画像の写真であり、図16の下方には製品形状が空間となって表面で囲まれている様子が示されている。本実施例ではこれらの製品（以下、モデル（図15または図16））に相当する3次元直交格子を生成した（図21、図22参照）。

【0032】図17は図15の金型のCADデータのファセットデータ（微細多角形）をディスプレイ9上に描画した画像の写真であり、図18はその一部拡大像の写真であり、本来はシェーディング処理に必要なデータである。本実施例ではこのファセットデータを用いる。

【0033】図3のステップS1で、ファセットデータは多角形の点数と各点の座標からなる数値群として図2のCADシステム5からイーサネット7を介してワークステーション10に取り込まれファセットデータ格納部11に格納される。

【0034】ステップS2で、ファセットデータ格納部11から数値データ（座標値）を作業用主記憶部13に読み込む。

【0035】このあと、ステップS2で発生させるボクセルの大きさ情報を得るためオペレータによるキーボード8からのボクセルの大きさ（x, y, z方向へのピッ

チ) の入力を待ち、キーボード入力があった後はステップ S 3 に移行する。

【0036】ステップ S 3 では、x, y, z 方向へのピッチデータ及び作業用主記憶部 13 に読み込んだ座標値からモデル全体を囲む領域 (x, y, z の最大, 最小に対応) を算出し空きボクセルを発生させる。空きボクセルは対象領域全体をボクセル微小 6 面体に分割したもので後述 (ステップ S 4) するように各空きボクセルにはデータ (値) が格納される。なお、上記ステップ S 1 ~ S 3 は図 1 の空きボクセル発生ブロック (ブロック 1) に相当するプロセスである。

【0037】ここで、図 4 (a) には上型形状のファセット 4 1 と下型形状のファセット 4 2 で規定される閉鎖形状のモデルが示されステップ S 3 でその内外形状領域全体に発生した格子 (空きボクセル) が示されている。

【0038】ステップ S 4 では、全てのファセットに対してそれと交差する空きボクセルに数値データ' 1' を格納する。この数値データは' 0' が o f f, ' 1' が o n に対応する。この操作によって図 4 (b) に示すように形状表面に対応したボクセル (表面ボクセル) 4 4 を発生する。なお、図 19, 図 20 は図 15, 図 16 に対応するサーフェイスボクセルをディスプレイ 9 上に描画した画像の写真である。

【0039】また、上記ステップ S 4 は図 1 の表面ボクセル発生ブロック (ブロック 2) に相当するプロセスである。更にまた、上記表面ボクセル生成ステップにおいてなされるファセットと空きボクセルとの交差判定法については後述するが (図 5 ~ 図 7 の説明参照)、空きボクセルと交差するファセットの形状は 3 角形が望ましい (後述)。

【0040】ステップ S 5 では、オペレータの手を経ることなく、対象領域の最外層のボクセルを自動的に一つ選ぶことができるので、これをスタート点として順次再帰的にデータの格納されていない隣接する空きボクセルに数値データを格納する (空きボクセルを数値データ' 1' で埋める)。このようにして図 4 (c) に示すように形状外側の空きボクセルにすべて数値データ' 1' を格納する。

【0041】なお、実施例では上述の、空きボクセルを数値データ' 1' で埋める操作、を図 10 に示すようなプログラムによる再帰関数を用いて実現している。ここで、図 10 は C 言語 (プログラム言語の一種) で表現されたソースプログラムとして示されており、センテンス 1 0 1 0 は以下の操作を行うための関数である。現在のボクセル位置 (i, j, k) に対してそのボクセルが o n でなければそのボクセルを o n にして埋め、センテンス 1 0 2 1 で領域を調べ、センテンス 1 0 2 2, 1 0 2 3 で再度埋めるか否かを判断し、センテンス 1 0 2 4 ~ 1 0 2 9 で前後左右上下のボクセルに順次移動して、この操作 (センテンス 1 0 2 0 ~ 1 0 2 9) を繰返す。こ

のように、再帰アルゴリズムによる隣接格子判定を実行するボクセル発生方法を行うことにより交点法に比べて安定し、計算手順が簡単になる。

【0042】最後に、ステップ S 6 では、領域全体にわたって数値データ' 0' を格納しているボクセルには数値データ' 1' を格納し、数値データ' 1' を格納しているボクセルには数値データ' 0' を格納することで図 4 (d) に示すように領域全体にわたってボクセルの o n, o f f を反転する。なお、上記ステップ S 5, S 6 は図 1 のボクセル反転ブロック (ブロック 3) に相当するプロセスである。

【0043】これら一連の手順 (ステップ S 1 ~ S 6) によって、モデルの形状部分に対応したボクセルは o n となり、形状外側に対応したボクセルは o f f となった目的の 3 次元直交格子を生成できる。図 21, 図 22 は一連の手順によって生成した 3 次元直交格子をディスプレイ 9 上に描画した画像の写真である。

【0044】上記実施例の方法により、

a. ステップ S 4 における変換 (ファセットに交差する空きボクセルに数値データ' 1' を格納して表面ボクセルを発生させる操作) の際、ファセット間の隙間がボクセルの大きさで吸収できるので安定的であり、

b. 外側を埋めたあと反転することにより見切り面等を持つ型データについてもボクセル化が可能であり従来 5 0 ~ 1 0 0 時間を要していた作成が 1 % 以下の時間で行えるようになり、

c. 更に、従来工数の関係上なされなかった複雑形状のモデルについても 3 次元直交データの作成が短時間で可能になり、

d. 内部を埋めるための始点情報が不要であるため自動化が可能であり、また形状内外の指定なしで 2 つ以上のモデルを同時に自動発生可能、となった。

【0045】なお、上記ステップ S 5 において、対象領域の内側のボクセルを一つ選びこれをスタート点として順次再帰的にデータの格納されていない隣接する空きボクセルに数値データを格納することもできる。

【0046】すなわち、形状内側の空きボクセルにすべて数値データ' 1' を格納するようにし、上記ステップ S 6 を省略してもモデルの形状部分に対応したボクセルは o n となり、形状外に対応したボクセルは o f f となった目的の 3 次元直交格子を生成できる。なお、この場合には対象領域の内側のボクセルを一つ指定する必要があるが、この方法は中空形状の 3 次元直交格子の生成に適しており、また、前述の形状外側を埋めてから反転する方法に比べ処理スピードが早くなる。

【0047】また、上記図 3 の実施例では形状モデルの CAD データを用いて 3 次元直交格子を得ているが、本発明の方法を用いて製品の型データを使い、製品の 3 次元直交格子を得ることができる。

【0048】この場合、反転により製品の型の見切面が

カットされるので製品の形状にそった3次元直交格子が得られる。また、製品の型データはNC加工データとして高精度に作られるので、一般的の形状モデルのCADデータより精度の高い3次元直交格子を得ることができる。

【0049】また、図3の実施例では製品形状が複雑な時にはデータ量が膨大になることがあり、この様な場合には一度にファセットデータを扱うことができないが、製品の型データをファセットデータとして用いる場合には、型データは数枚の型データからなっているので、それぞれの型データ毎にファセットデータから空きボクセルを発生させてそれらをそれぞれ組合せて表面ボクセルを得て、反転操作により3次元直交格子を得るようにすることができる。

【0050】このように型データを用いることにより製品形状の3次元直交格子を効率よく得るようにすることができる。

【0051】図5は表面ボクセル生成（図3のステップS4参照）におけるファセットと空きボクセルとの交差判定フローチャートの一例である。

【0052】交差判定は図5のステップS51で交差の対象となるボクセルを選び、ステップS52で交差の対象とする3角形を選んでから、ステップS53で3角形（ファセットデータ）とボクセルが交点を持つか否かを調べる。ここで、交点を持つ場合はステップS55に移行しそのボクセルをonとしてステップS56に移行する。

【0053】交点を持たない場合はステップS54に移行し全ての3角形について交差判定を行ったかを調べる。交差判定を全ての3角形について行つていればステップS56に移行し、交差判定を行つていなければボクセルがある場合にはステップS52に移行する。

【0054】ステップS56では、全てのボクセルについて交差判定を行つたかを調べ全てのボクセルについて交差判定を行つていれば処理を終了し、交差判定を行つていなければボクセルがある場合にはステップS51に戻る。

【0055】ここで、ステップS52、S53で交差の対象として任意の多角形ファセットデータあるいは自由曲面を用いることができるが、これは後述するように3角形で行うほうが処理が簡単であるため実施例では空きボクセルとの交差判定に3角形を用いている。

【0056】図6及び図7は、図5においてファセットとして3角形を用いることの利点の説明図である。

【0057】図6は、交差対象として自由曲面を用いる場合と3角形ファセットデータを用いる場合の比較図であり、曲面は各種のCADシステムにおいて表現式が異なるため（例えば、ナーブス（nurbs）、ベジェ曲線等）、図6（a）に示すように表現式に応じた交差判定を用いることになりプログラムが複雑になる。これに対

し、3角形を用いる場合には図6（b）に示すように表現式に応じた交差判定を要せず、簡単なステップでどのようなCADデータにも対応できる。

【0058】すなわち、図6（a）ではステップS61で交差の対象となる曲面を選び、ステップS62で当該曲面の表現式を調べ、ステップS63で表現式に応じた交差判定を用いる必要があるが、図6（b）ではステップS52で交差の対象となる3角形を選び、3角形とボクセルが交差するか否かを調べるだけでよい。

【0059】図7は、ファセットとして多角形を用いる場合と3角形を用いる場合の比較図であり、n角形の場合は図7（a）に示すようにnの値に応じてn-2回の交差判定を繰返す必要がありプログラムが複雑になる。これに対し、3角形を用いる場合には図7（b）に示すように簡単なステップでどのようなCADデータにも対応できる。

【0060】すなわち、図7（a）ではステップ71で交差の対象となる多角形を選び、ステップS72で当該n角形が何角形であるか調べ、ステップ73でn-2回の交差判定を用いる必要があるが、図6（b）ではステップS52で交差の対象となる3角形を選び、3角形とボクセルが交差するか否かを調べるだけでよい。

【0061】図8及び図9は、不完全なファセットを含む形状モデルへの本発明の適用例の説明図である。

【0062】図8でファセットの抜け82のある不完全な形状モデルに対して交点法（前述）と本発明による直交格子生成法を適用したところ、交点法では基準点からファセットの抜けているところを結ぶ領域で3次元格子の欠落が生じたが、本発明による直交格子生成法ではファセットのサイズより大きな格子サイズを設定した場合に欠落のない完全な3次元格子が得られた。

【0063】図9は、2次元直交格子の場合を例としたファセットの抜けのある不完全な形状モデルに対する交点法と本発明による直交格子生成法による結果の説明図であり、図9（a）には完全なファセットにより生成される直交格子91を、図9（b）には交点法によって不完全なファセットから生成された直交格子92を、図9（c）には本発明によって不完全なファセットをから生成された直交格子96が示されている。交点法では空きセルにファセットの一部93、94が交差していても完全な格子は生成されないが、本発明では空きセルにファセットの一部93、94が交差していれば図9（a）に示すような完全な直交格子91と同様な直交格子96が生成される。

【0064】また、図2では本発明の3次元直交格子の生成方法を実行するためのハードウェア構成として、イーサネットのようなローカルエリアネットワーク7を介して、CADシステム、解析システム、キーボード、ディスプレイ、及び本発明の方法を実行する構成を備えたワークステーションが接続するシステムを例としたが、

ワークステーションをスタンダードアローンとし、型データや製品データを格納媒体を介して取込むよう構成してもよく、また、CADシステムあるいは解析システム構成する装置に本発明の3次元直交格子の生成方法を実行するための手段（プログラム）を組込んでもよい。

【0065】また、鋳造部品としてロードホイールのディスク面の型の放電加工用のCADデータを用いて、上記第5の発明の方法でディスク部についての第1の3次元直交格子データを生成し、続いてリム部形状データを用いて、上記第2の発明の方法でリム部についての第2の3次元直交格子データを生成し、さらに鋳造方案部形状データを用いて、上記第3の発明の方法で、方案部についての第3の3次元直交格子データを生成する。

【0066】しかる後に、上記第1ないし第3の3次元直交格子データを所定の位置に配置し、鋳造方法を含むロードホイール全体の3次元直交格子データとして生成することができる。このように夫々のパートに都合の良い方法を使うことにより、効率良い演算を行える。

【0067】以上本発明の一実施例について説明したが、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、種々の変形実施が可能であることはいうまでもない。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、第1ないし第7の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、ファセットに交差する空きボクセルから表面ボクセルを発生させる際、ファセット間の隙間がボクセルの大きさで吸収できるので、交点法によっては生成できない（閉鎖していない）不完全な形状データ（または型データ）に対しても3次元直交格子を生成し得る。

【0069】また、再帰アルゴリズムによる隣接格子判定を実行するボクセル発生方法により交点法に比べて安定的であり計算手順が簡単である。更に、法線ベクトル法のように形状表面と全格子点との間で内外判定を行う必要がなく計算手順が簡単である。更に、面の向きが統一されている必要がなくなる。

【0070】第2、第5、及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、形状領域の内部を埋めるための始点情報が自動設定ができ、また、形状領域外側を反転してボクセルを発生させてるので、個々のモデルの形状内外の指定なしで2つ以上のモデルを同時に自動発生できる。

【0071】第3、第5、及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法は、中空形状の3次元直交格子データの生成に適しており、また、第2の発明に比較して処理スピードが早くなる。

【0072】第4の発明の3次元直交格子データの生成方法では、第2の工程でファセットとして微細自由曲面または微細多角形を用いる場合と比べ3角形を用いることにより比較ステップが簡略化され空きボクセルとの交差判定速度が早くなる。

【0073】第5及び第6の発明の3次元直交格子データの生成方法は、外側を埋めたあと反転することにより見切り面等を持つ型データについても修正なしにボクセル化ができるので、従来に比較して1%以下の時間で3次元直交格子データの生成を行うことができる。

【0074】第6の発明では3次元直交格子データの生成方法は、従来工数や記憶容量の関係上なされなかった複雑形状のモデルについても、型データを組合せて空きボクセルを得て表面ボクセルを発生させることができ、複雑な形状の3次元直交データの作成が短時間でできる。

【0075】第7の発明の3次元直交格子データの生成方法によれば、夫々のパートに都合の良い方法を使って効率良い演算ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の3次元直交格子の生成方法の基本プロセスを示すブロック図である。

【図2】本発明の3次元直交格子の生成方法により得られた3次元直交格子データの生成を実施したシステムの一構成例を示すブロック図である。

【図3】図2のシステムを用いた本発明の3次元直交格子生成法の一実施例を示すフローチャートである。

【図4】本発明に基づく3次元直交格子生成法の各プロセスの説明図である。

【図5】表面ボクセル生成におけるファセットとボクセルとの交差判定フローチャートの一例である。

【図6】図5においてファセットとして3角形を用いることの利点の説明図である。

【図7】図5においてファセットとして3角形を用いることの利点の説明図である。

【図8】不完全なファセットを含む形状モデルへの本発明の適用例の説明図である。

【図9】不完全なファセットを含む形状モデルへの本発明の適用例の説明図である。

【図10】C言語で表現された、再帰関数（プログラム）の例である。

【図11】交点法による内部外部判定法の説明図である。

【図12】法線ベクトル法による内部外部判定法の説明図である。

【図13】法線ベクトル法の判定点及び法線ベクトル法によって得られるボクセルの例である。

【図14】複雑な有限要素メッシュの例である。

【図15】鋳造部品の金型のCADデータの例をディスプレイに描画したディスプレイ画像の写真である。

【図16】図15の金型表面の一部を切断したもののCADデータのディスプレイ画像の写真である。

【図17】図15の金型のCADデータのファセットデータのディスプレイ画像の写真である。

【図18】図17の一部拡大像の写真である。

【図19】図15に対応する表面ボクセルのディスプレイ画像の写真である。

【図20】図16に対応する表面ボクセルのディスプレイ画像の写真である。

【図21】図3の実施例により生成され3次元直交格子のディスプレイ画像の写真である。

【図22】図3の実施例により生成され3次元直交格子のディスプレイ画像の写真である。

【符号の説明】

1 空きボクセル発生ブロック  
2 表面ボクセル発生ブロック

\* 3 ボクセル反転ブロック

5 CADシステム

6 解析システム

8 キーボード

9 ディスプレイ

11 ファセットデータ格納部

12 解析用直交格子データ格納部

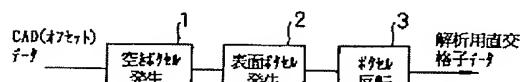
13 作業用主記憶部(メモリ)

14 CPU

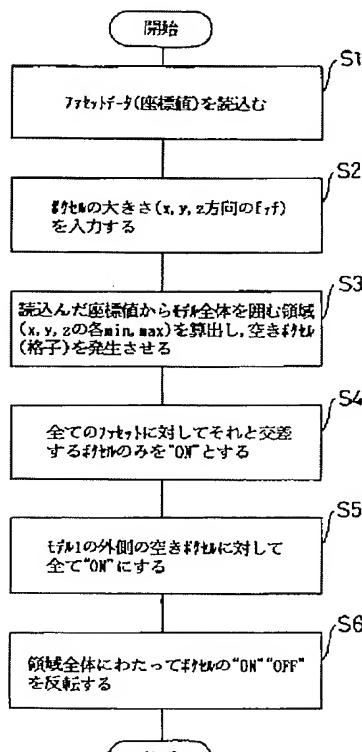
10 15 解析用直交格子発生部

\* 16 データ表示操作部

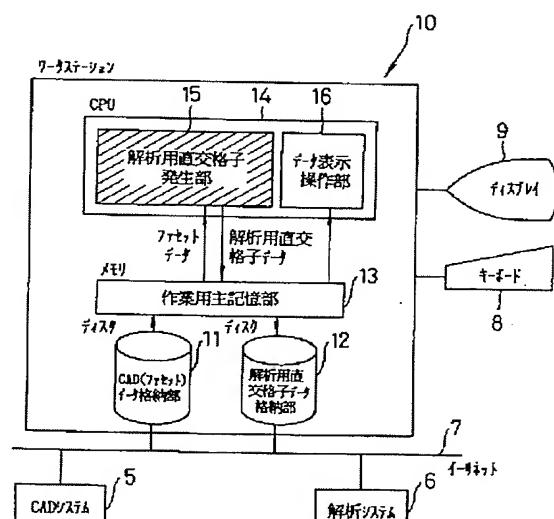
【図1】



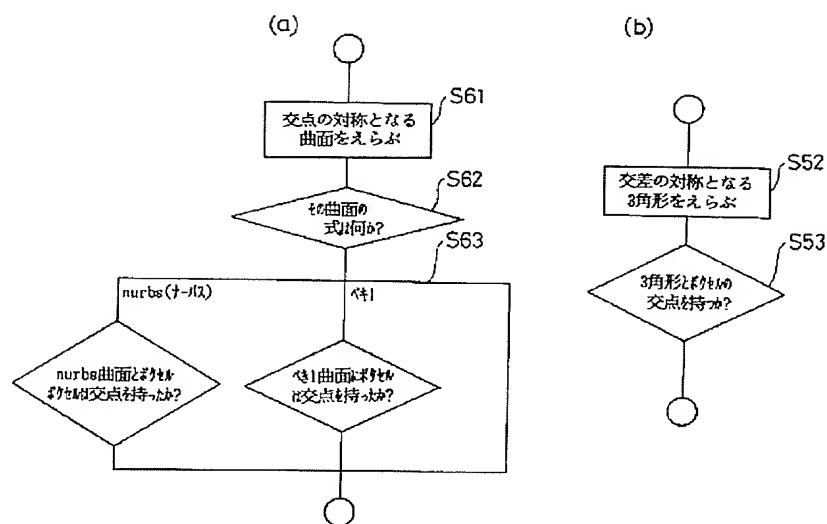
【図3】



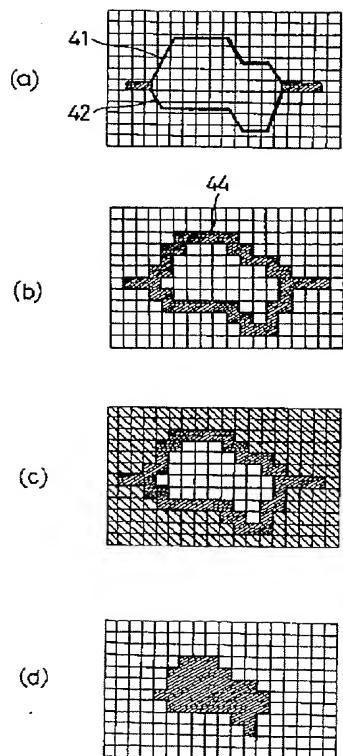
【図2】



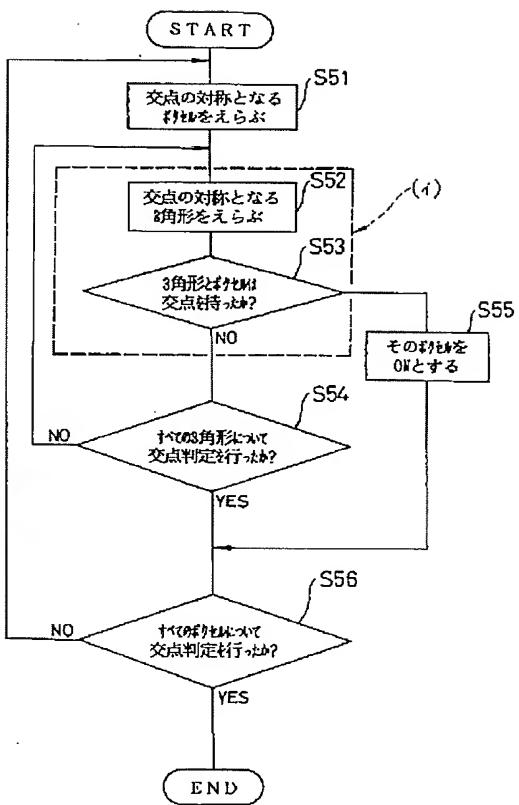
【図6】



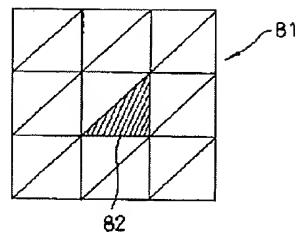
【図4】



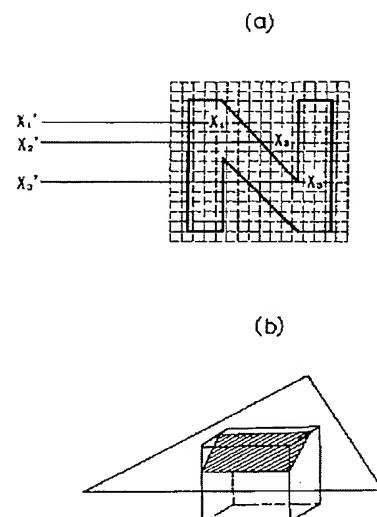
【図5】



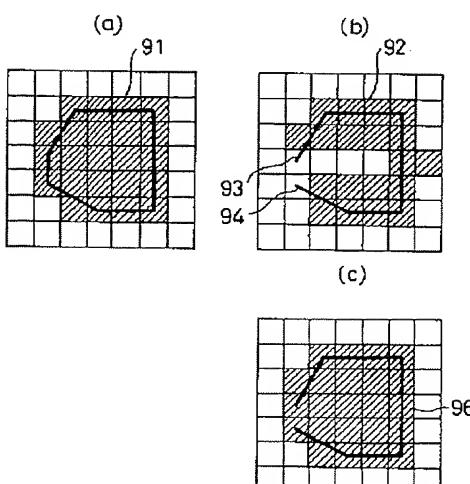
【図8】



【図11】



【図9】



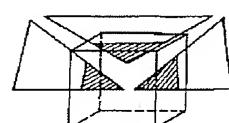
【図10】

```

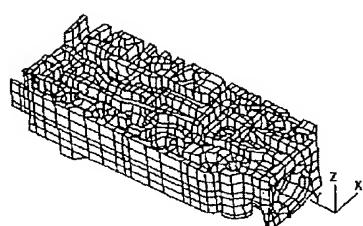
1010 vox_fill(i, j, k)
short int i, j, k;
1020 {
1021  if(i<0||j<0||k<0||i>imax||j>jmax||k>kmax)
1022  if(id[i][j][k]==0X) return;
1023  else id[i][j][k]=0X;
1024  vox_fill(i+1, j, k);
1025  vox_fill(i, j+1, k);
1026  vox_fill(i-1, j, k);
1027  vox_fill(i, j-1, k);
1028  vox_fill(i, j, k-1);
1029  vox_fill(i, j, k+1);

```

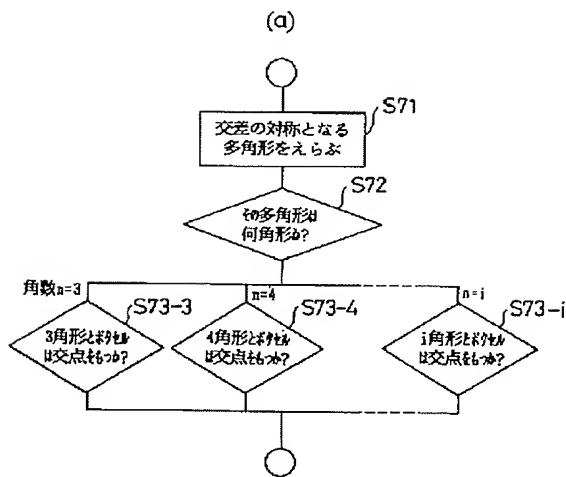
(c)



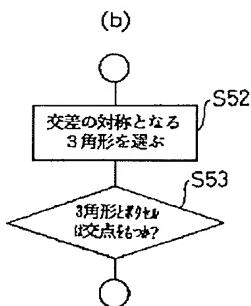
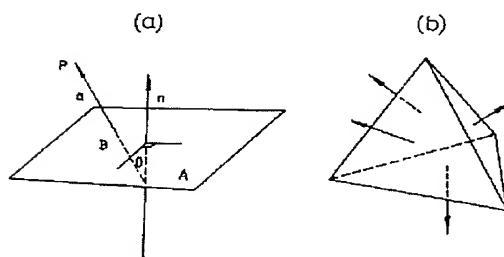
【図14】



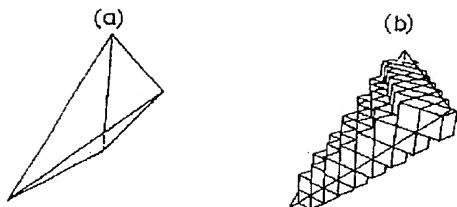
【図7】



【図12】

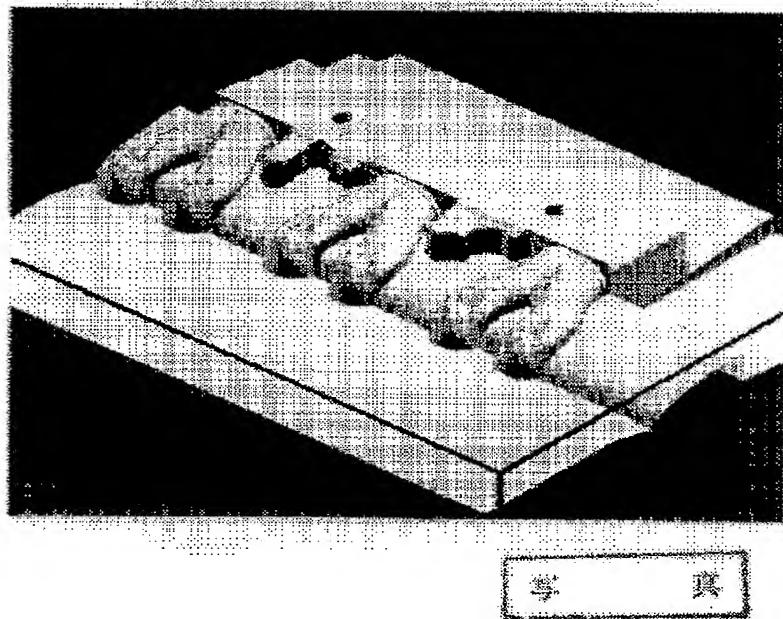


【図13】



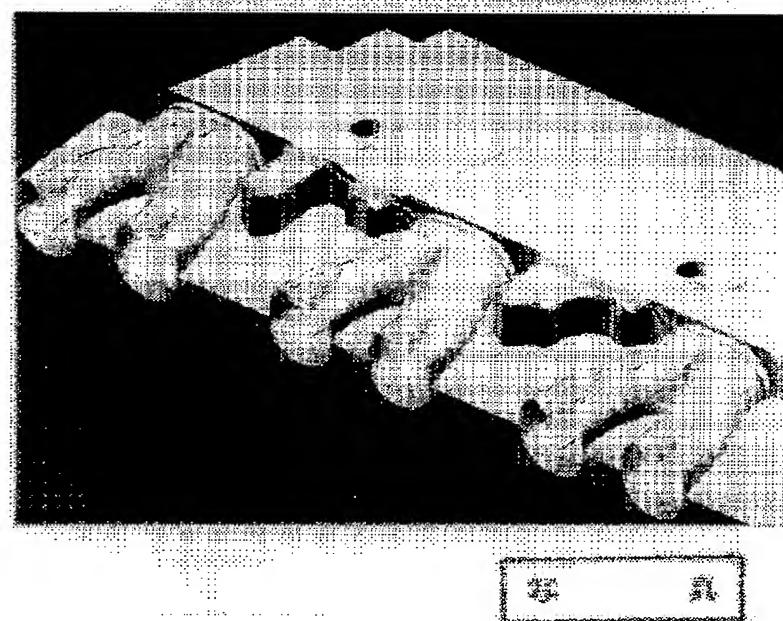
【図15】

圖面代用等真

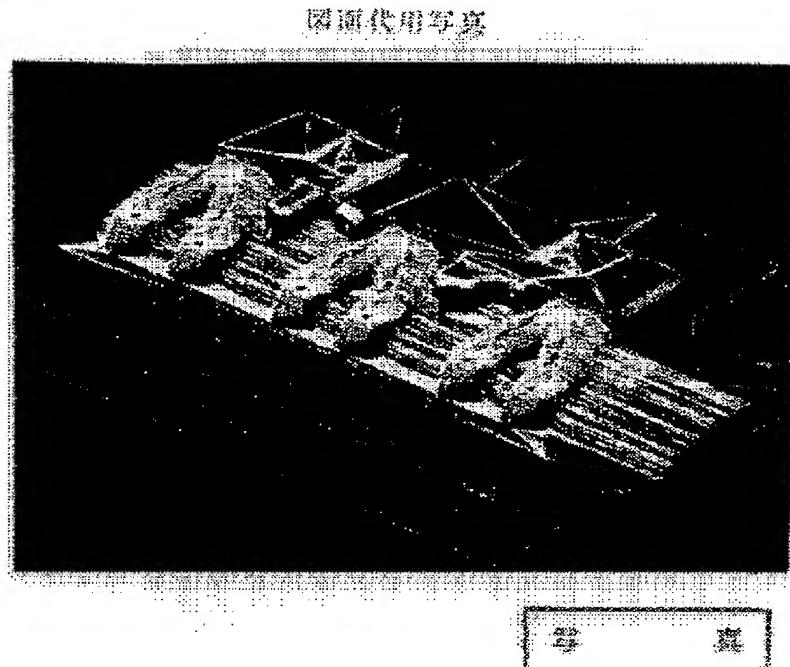


【図16】

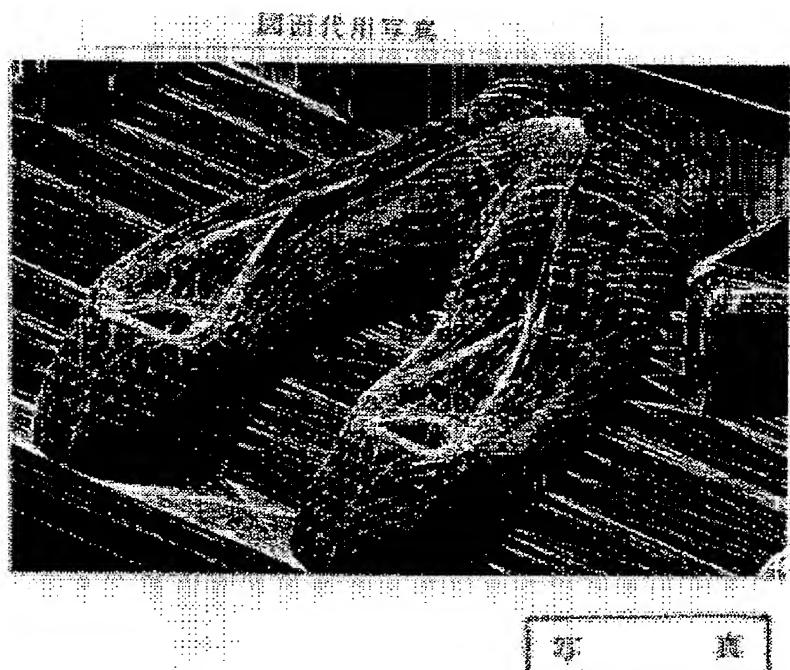
圖面代用等真



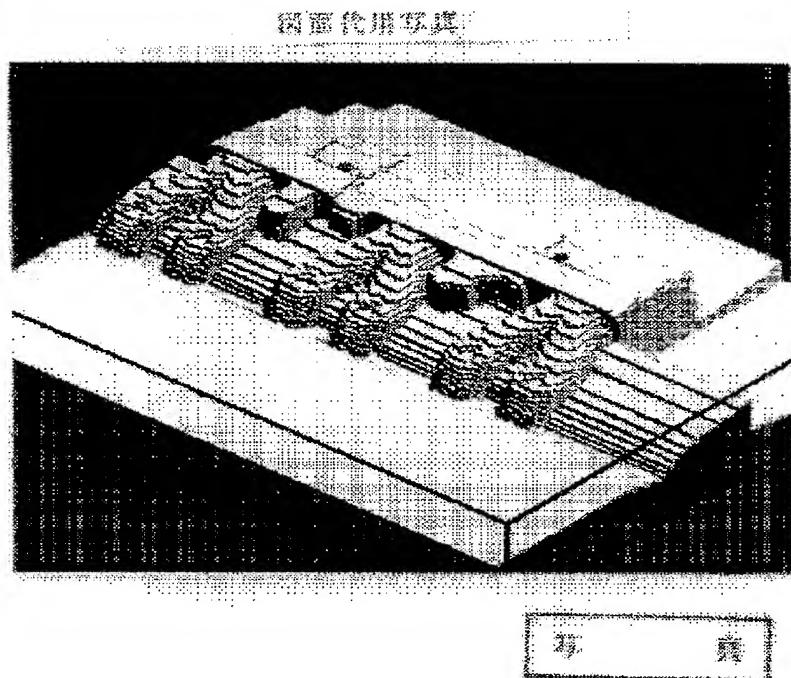
【図17】



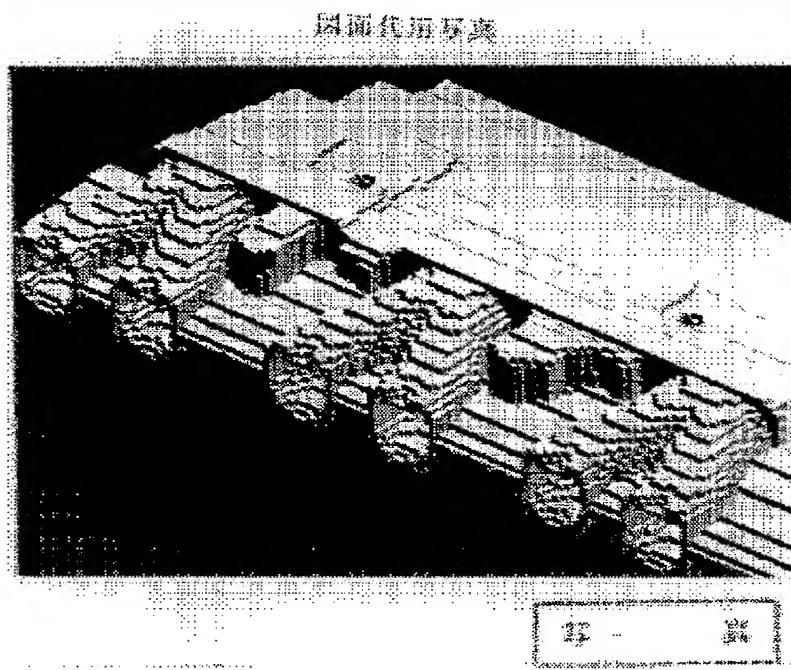
【図18】



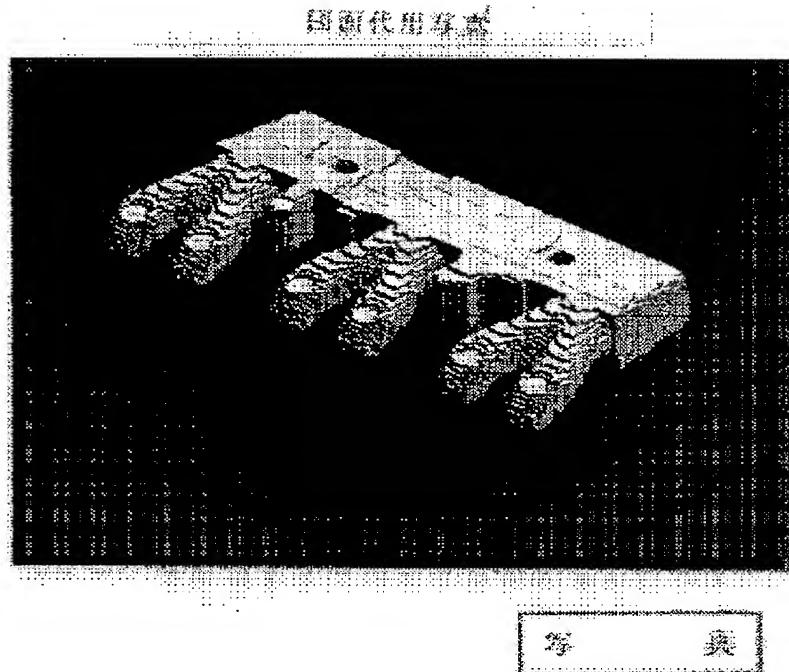
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

